

Zastosowanie metod analizy obrazów do detekcji sieci szczelin śródkrystalicznych obserwowanych na mikroskopowych obrazach struktur skalnych

BOGUSŁAW OBARA, MARIUSZ MŁYNARCZUK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

Analiza obrazu jest szybko i perspektywnie rozwijającą się metodą o multidyscyplinarnym wykorzystaniu. W prezentowanej pracy przedstawiono zastosowanie tej metody w obszarze badania struktur skalnych, w szczególności w procesie segmentacji szczelin śródkrystalicznych obserwowanych na mikroskopowych zdjęciach dolomitu i granitu. Analizowane kolorowe obrazy, losowo wybranych pół szlifów cienkich dolomitu i granitu, zostały poddane transformacji systemu koloru RGB do systemu koloru CIELab. Następnie, przy wykorzystaniu technik przetwarzania obrazów, w szczególności analizy odchylenia standardowego jasności (poziomów szarości) otoczenia szczelin i granic ziarn na analizowanych obrazach, wykonano detekcję szczelin śródkrystalicznych. Owocem przeprowadzonych prac badawczych jest zbiór algorytmów pozwalających na poprawną i w pełni automatyczną segmentację szczelin śródkrystalicznych a w końcowym efekcie, możliwość ich ilościowej analizy.

Słowa kluczowe: analiza obrazów, szczeliny śródkrystaliczne, struktury skalne

1. Wprowadzenie

Bardzo ważną rolę w zrozumieniu mechanicznego zachowania skał odgrywiają szczeliny. W skałach szczeliny występować mogą dzięki, np.: działaniom termicznym oraz siłom tektonicznym podczas okresów deformacji i wpiętrzeń [1]. Spójność i kształt szczelin mają decydujący wpływ na transport w skałach [2]. Szczeliny reprezentują główny wektor prędkości przepływu, ponieważ są one zazwyczaj liczne a ich wydłużony kształt zwiększa spójność „ścieżek przepuszczalności” przez skałę [3].

Różnorodność badanych szczelin była podstawą do zaproponowania w pracy [3] terminologii dla zdefiniowania ich wszystkich rodzajów. Zaproponowana definicja klasyfikuje szczeliny na: „szczeliny na granicy ziarn”, śród-, między- i wewnątrzkrystaliczne. Z kolei w pracy [4], autorzy zaproponowali definicję szczelin z podziałem na: śródkrystaliczne, międzykrystaliczne i mieszane (np.: śródkrystaliczna szczelina przechodząca w międzykrystaliczną). Szczeliny śródkrystaliczne (wg definicji z [4]) występujące w strukturze dolomitu i granitu stały się celem badawczym poniższej pracy.

Prace badawcze na temat opisu szczelin występujących w strukturach skalnych, zazwyczaj prowadzone są przy użyciu standardowej analizy stereologicznej (np. [4, 5]). Innym podejściem jest ręczna detekcja szczelin, której przykładem jest metoda opracowana w pracy [6], gdzie granice ziarn i szczeliny były kolorowane na fotografiach, które następnie były skanowane, a ich cyfrowa postać była analizowana przy użyciu metod komputerowej analizy obrazu.

Zazwyczaj, autorzy wspierają automatyczną detekcję szczelin, poprzez nasycenie analizowanej próbki skalnej żywicą epoksydową zawierającą barwnik fluorescencyjny [6, 7, 8]. Barwienie takie pozwala na wzrost kontrastu poszukiwanych mikropęknięć w stosunku do reszty obserwowanej struktury skalnej. Taki środek barwiący jest używany zarówno w obserwacjach za pomocą mikroskopu optycznego [6, 7, 8], jak i laserowego mikroskopu skaningowego [8]. W pracach [9, 10] zaprezentowano użycie metod komputerowej analizy obrazu do segmentacji granic ziarn struktury skalnej granitu obserwowanej pod skaningowym mikroskopem

elektronowym. Przedmiotem badań naukowców były także obserwowane pod mikroskopem polaryzacyjnym, bez użycia środka barwiącego, szczeliny występujące w strukturach dolomitu [11] i granitu [12].

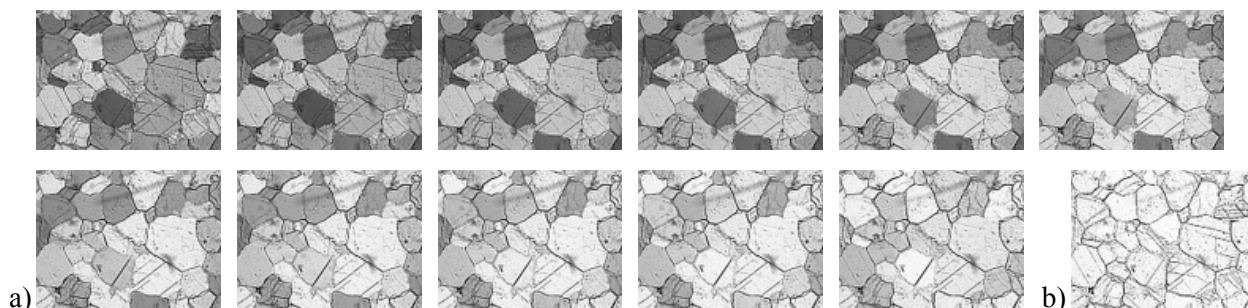
Szczeliny, ich powstawanie [13], opis stereologiczny [4], i automatyczna detekcja przy użyciu metod analizy obrazu [11, 12], są ważnym kierunkiem prac badawczych w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN.

Prezentowana praca opisuje wyniki badań mających na celu opracowanie zbioru algorytmów analizy obrazu do automatycznej segmentacji poszczególnych szczelin śródkrystalicznych w strukturach dolomitu i granitu, obserwowanych pod optycznym mikroskopem polaryzacyjnym bez użycia substancji barwiących. Praca nie skupia się na kompleksowym opisie struktury, ale wyłącznie na detekcji występujących w niej, szczelin śródkrystalicznych.

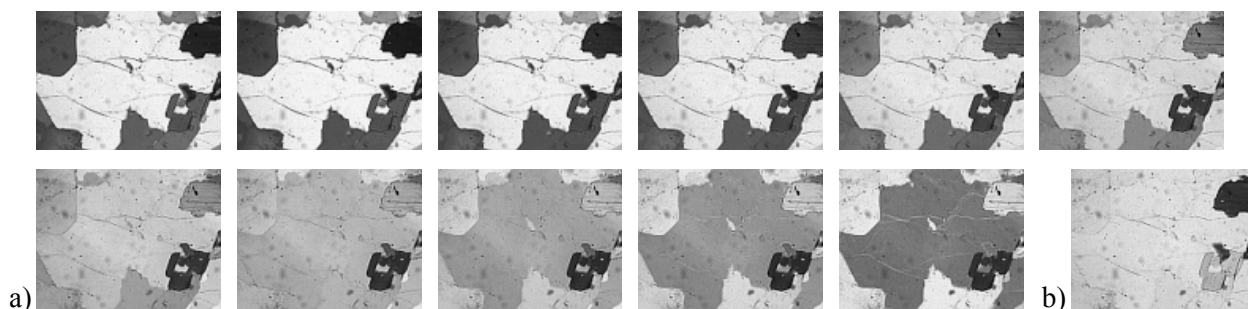
2. Materiał badawczy

W pracy przedstawiono wyniki analizy szczelin występujących w dolomicie z Rędzin i granicie ze Strzelina. Dla każdej z tych skał wykonano dwa szlify cienkie. Szlify te obserwowane były pod optycznym mikroskopem polaryzacyjnym. Używany w pracy mikroskop posiada system dwóch skrzyżowanych polaryzatorów, z których jeden posiada możliwość obrotu [14]. Z punktu widzenia komputerowej analizy obrazu, obrót tego polaryzatora pozwala na wzrost informacji o kolorze i jasności obserwowanej struktury skalnej – patrz sekwencja mikroskopowych zdjęć jednego pola pomiarowego na szlifie cienkim dolomitu (rys. 1ab) i granitu (rys. 2ab).

Zdjęcia rejestrowane były przy użyciu, zintegrowanej z mikroskopem, kamery CCD bezpośrednio połączonej z komputerem PC. Na każdym ze szlifów wybrano losowo po 9 pól pomiarowych, a na każdym z nich zarejestrowano po 12 kolorowych zdjęć: 11 zdjęć (rys. 1a, 2a) przy użyciu skrzyżowanych polaryzatorów (każde przy coraz to innym kącie skrzyżowania) i jedno przy użyciu jednego polaryzatora (rys. 1b, 2b). Każde ze zdjęć wykonane było z użyciem 100-krotnego powiększenia mikroskopowego. Zarejestrowane przy użyciu kamery CCD zdjęcia miały rozdzielczość 742×556 pikseli (co odpowiada wymiarom $1531 \times 1046 \mu\text{m}$) i 16,7 milionów kolorów.



Rys. 1. Wybrane pole pomiarowe struktury dolomitu: a) 11 obrazów – dwa skrzyżowane polaryzatory, b) obraz zarejestrowany przy jednym polaryzatorze



Rys. 2. Wybrane pole pomiarowe struktury granitu: a) 11 obrazów – dwa skrzyżowane polaryzatory, b) obraz zarejestrowany przy jednym polaryzatorze

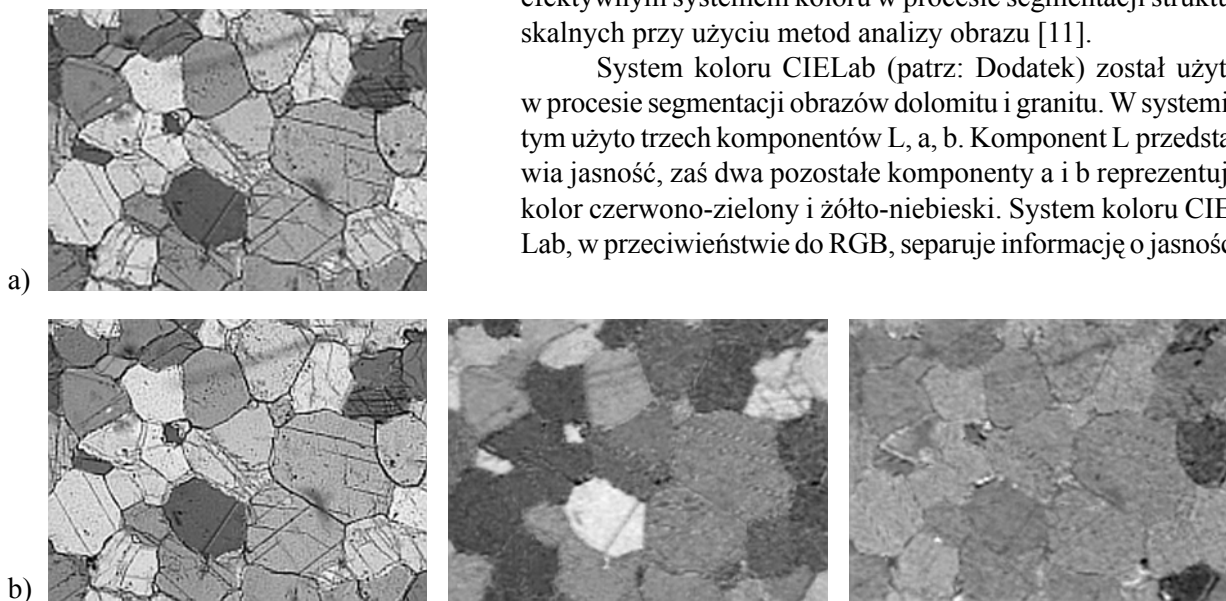
Tak zarchiwizowane obrazy zostały poddane procesowi segmentacji szczelin, opisanemu w rozdziałach: 3, 4 i 5.

3. Wstępne przygotowanie zdjęć

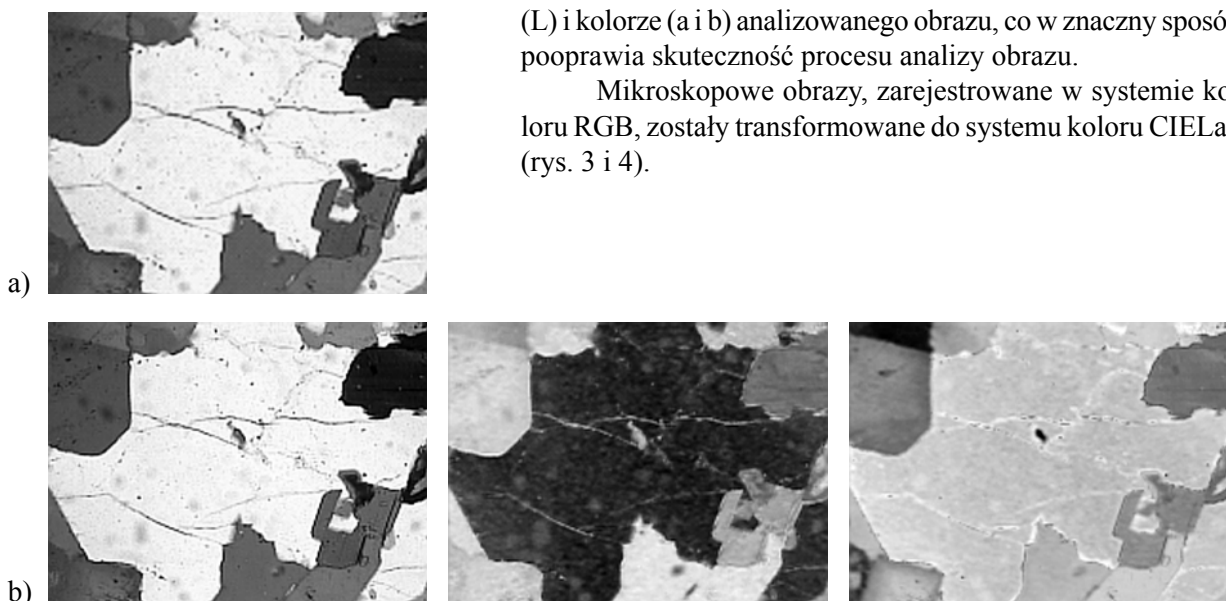
Mikroskopowe obrazy struktur dolomitu i granitu zarejestrowane zostały w powszechnie znanym i używanym systemie koloru RGB. Kolor w systemie RGB przedstawiany jest jako kombinacja jasności trzech podstawowych barw: czerwonej, zielonej i niebieskiej [15]. Jest on odpowiedni do wyświetlania koloru, ale niekiedy mało efektywny dla poprawnej segmentacji i analizy kolorowych obrazów ze względu na wysoką korelację poszczególnych komponentów R, G, B [16].

Niemniej jednak, obraz w systemie koloru RGB może być transformowany do innego systemu koloru, np.: XYZ, CIELab, CIEluv, YC_bC_r , YCC, HIS, HLS, HSL, HSV, HVC i wielu innych. Jak dotychczas, w znanej nam literaturze, pojawiło się kilka prac na temat porównania rezultatów segmentacji obrazów z użyciem różnych systemów koloru [17, 18, 19]. W pracy [19] pokazano segmentację kolorowych zdjęć satelitarnych z użyciem systemów koloru: RGB, XYZ, I1I2I3, YIQ, YC_bC_r , HIS, HSV i CIELab, gdzie CIELab dawał najlepsze rezultaty. CIELab okazał się także efektywnym systemem koloru w procesie segmentacji struktur skalnych przy użyciu metod analizy obrazu [11].

System koloru CIELab (patrz: Dodatek) został użyty w procesie segmentacji obrazów dolomitu i granitu. W systemie tym użyto trzech komponentów L, a, b. Komponent L przedstawia jasność, zaś dwa pozostałe komponenty a i b reprezentują kolor czerwono-zielony i żółto-niebieski. System koloru CIELab, w przeciwieństwie do RGB, separuje informację o jasności



Rys. 3. Transformacja mikroskopowego obrazu dolomitu z systemu koloru RGB do CIELab: a) obraz w kolorze, b) jego reprezentacja w CIELab: komponenty L, a, b



Rys. 4. Transformacja mikroskopowego obrazu granitu z systemu koloru RGB do CIELab: a) obraz w kolorze, b) jego reprezentacja w CIELab: komponenty L, a, b

(L) i kolorze (a i b) analizowanego obrazu, co w znaczny sposób poprawia skuteczność procesu analizy obrazu.

Mikroskopowe obrazy, zarejestrowane w systemie koloru RGB, zostały transformowane do systemu koloru CIELab (rys. 3 i 4).

4. Opis metody segmentacji szczelin śródkrystalicznych w dolomicie

Jak można zauważyć na zarejestrowanych obrazach dolomitu i granitu, szczeliny śródkrystaliczne posiadają trzy charakterystyczne własności:

- mogą być aproksymowane przez liniowe odcinki,
- mają niższą jasność w porównaniu z jasnością powierzchni ziarn,
- ich szerokość to 2-5 pikseli a długość większa od 10 pikseli.

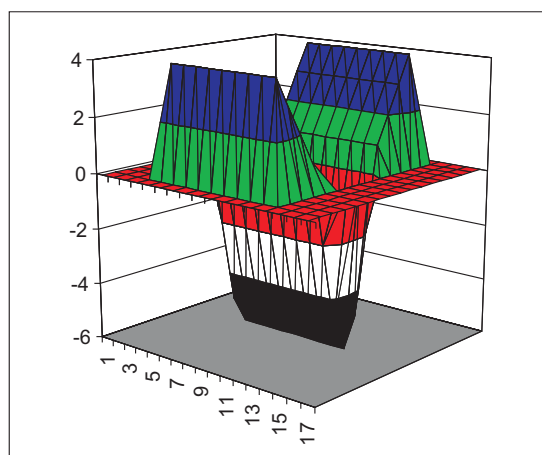
Multidyshiplinarność metod analizy obrazu była dla autorów inspiracją w procesie opracowania podejścia do problemu detekcji szczelin śródkrystalicznych. W dużym stopniu opisane powyżej cechy szczelin są podobne do własności naczyń krwionośnych występujących na siatkówce ludzkiego oka, będących przedmiotem badań prowadzonych przez autorów pracy [20].

Zaproponowali oni dyskretny dwuwymiarowy filtr oparty na funkcji Gaussa (rys. 5). Dla pełnej detekcji obiektów położonych w różnych kierunkach, filtr ten był obliczany dla 12 kierunków, co 15 stopni.

```

0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0
0 4 3 2 1 -2 -5 -6 -5 -2 1 2 3 4 0

```



Rys. 5. Filtr Gauss dla kierunku 90 stopni

Przedstawiony powyżej filtr Gaussa został zaimplementowany w języku programowania C++ i użyty w procesie detekcji szczelin.

Cały proces segmentacji szczelin śródkrystalicznych został podzielony na dwa podstawowe etapy:

- Etap 1: detekcja wszystkich obiektów posiadających cechy charakterystyczne dla szczelin,
- Etap 2: eliminacja obiektów, zidentyfikowanych w pierwszym etapie jako szczeliny, a nie będących szczelinami.

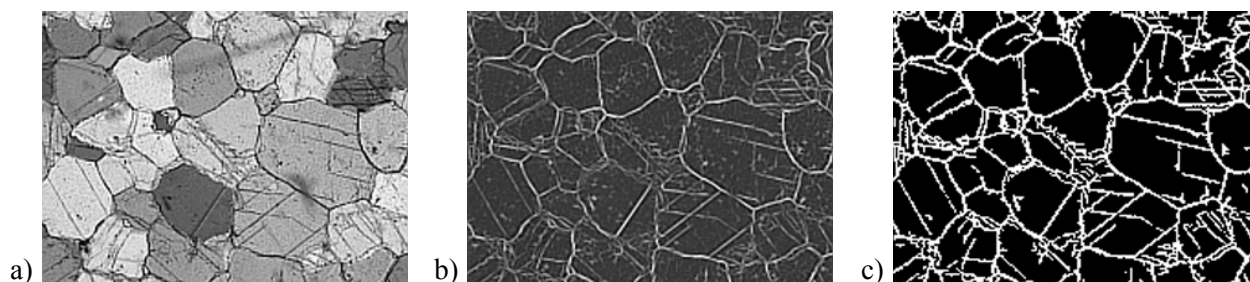
Etap 1

Dwanaście obrazów (komponentów L – system koloru CIELab rys. 6a) zostało poddanych działaniu filtru Gaussa w dwunastu kierunkach, co 15 stopni dla każdego z obrazów. Następnie obliczono obraz maksimów (rys. 6b) wszystkich 12 obrazów po działaniu filtru. Obraz ten został później poddany procesowi automatycznej binaryzacji zaproponowanej w pracy [21] (rys. 6c).

Efektom Etapu 1 jest binarny obraz, na którym są szczeliny śródkrystaliczne, ale i również niepożądane w naszym przypadku granice ziarn. Stąd więc niezbędny jest kolejny etap algorytmu prowadzący do eliminacji obiektów, zidentyfikowanych w pierwszym etapie jako szczeliny, a nie będących nimi.

Etap 2

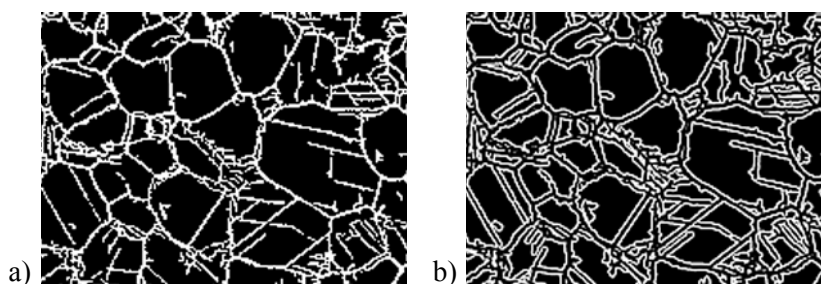
Szczelina śródkrystaliczna, na obrazach wejściowych (rys. 2ab, 3ab), jest otoczona obszarem o podobnym kolorze w przeciwieństwie do granicy ziarn, która rozróżnia dwa obszary o różnym kolorze. Funkcją,



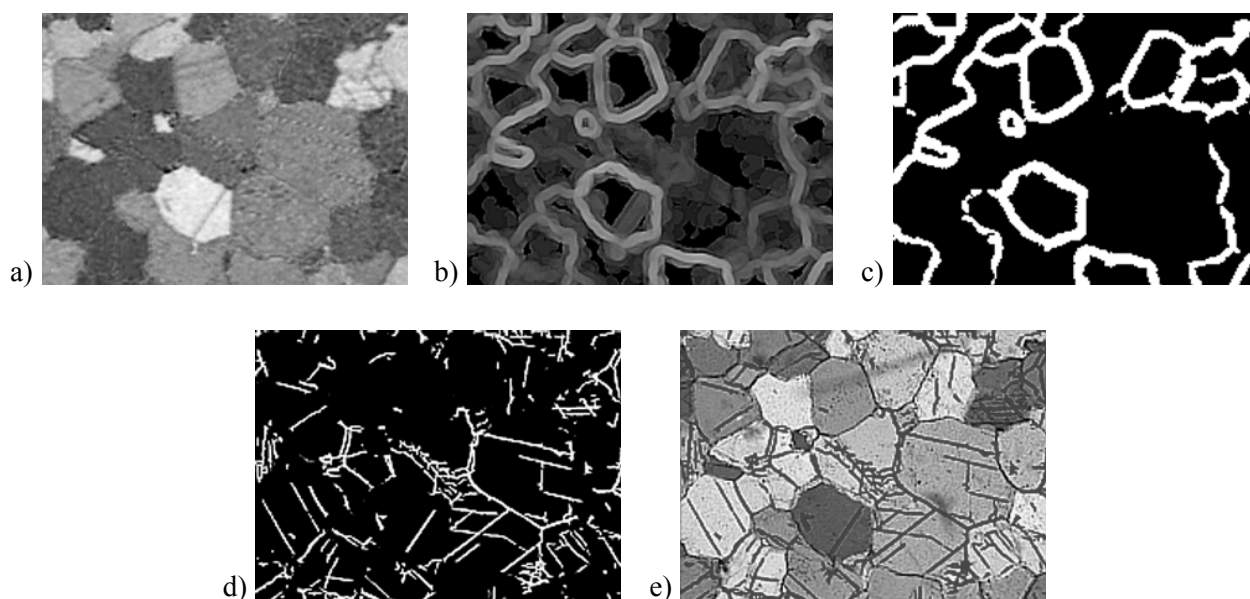
Rys. 6. Dolomit: a) komponent L, b) maksimum, c) automatyczna binaryzacja

która poprzez wykorzystanie tych własności może być użyta do eliminacji granic ziarn z obrazu na rysunku 6c, jest odchylenie standardowe jasności otoczenia szczelin i granic ziarn na analizowanych obrazach.

Obraz z rysunku 6c został wykorzystany do wyznaczenia obrazu maski zawierającego obszar sąsiedztwa (o rozmiarze 4 pikseli) obiektów znalezionych w Etapie 1 (rys. 7b). Do wyznaczenia odchylenia standardowego wykorzystywany był element strukturalny w postaci koła o promieniu 15 pikseli. Procedura obliczeniowa polegała na przykładaniu elementu strukturalnego do każdego piksela obrazu wejściowego (rys. 8a) oraz wyznaczaniu odchylenia standardowego jasności pikseli tego obrazu znajdujących się wewnątrz elementu strukturalnego i jednocześnie będących wewnątrz maski 7b.



Rys. 7. Dolomit: a) wynik z Etapu 1, b) binarna maska (obszar sąsiedztwa, w którym jest liczone odchylenie standardowe wartości 11 komponentów a)



Rys. 8. Dolomit: a) komponent a, b) maksimum, c) automatyczna binaryzacja, d) wynik eliminacji przy pomocy obrazu (rys. 8c) z obrazu (rys. 7a) granic ziarn, e) wyznaczone szczeliny przedstawione na obrazie wejściowym

Odchylenie standardowe obliczane było dla wartości 11 komponentów a 11 obrazów wykonanych z dwoma skrzyżowanymi polaryzatorami (rys. 3b). Obraz będący maksimumami wszystkich 11 obrazów (rys. 8b) z odchyleniem standardowym wartości 11 komponentów a został poddany automatycznej binaryzacji [21] (rys. 8c). Obraz przedstawiony na rysunku 8c został użyty do eliminacji granic ziarn z obrazu na rysunku 7a, a wynikiem tego jest binarny obraz zawierający tylko szczeliny śródkrystaliczne – rysunek 8d.

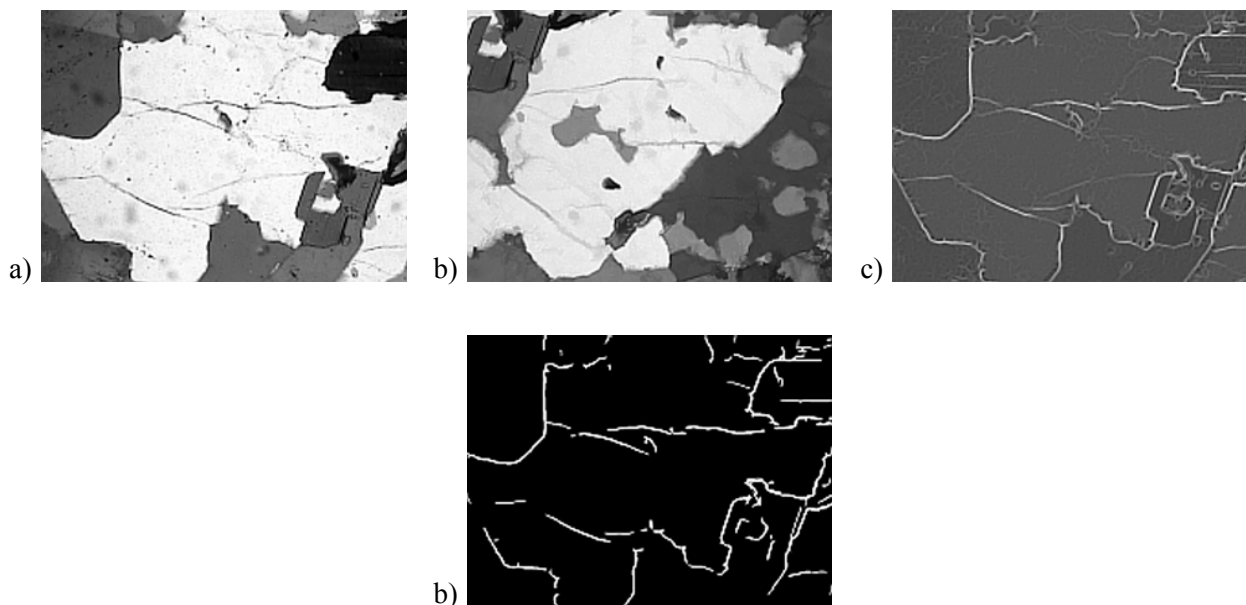
Metoda oparta na badaniu odchylenia standardowego jasności ma jednak ograniczenia związane z analizą granic między dość rzadko występującymi ziarnami o podobnym kolorze (rys. 8e). W takich przypadkach, metoda ta może być usprawniona poprzez wykonanie większej ilości obrazów z użyciem skrzyżowanych polaryzatorów dla zmniejszenia kąta skrzyżowania polaryzatorów pomiędzy poszczególnymi obrazami a przez to uchwycenia minimalnych różnic wartości koloru ziarn o zbliżonej barwie. Uchwyczone różnice pozwolą na poprawę metody i eliminację niepoprawnie sklasyfikowanych szczelin.

5. Opis metody segmentacji szczelin śródkrystalicznych w granicie

Ze względu na występowanie na mikroskopowych obrazach granitu ciemnych wtrąceń, Etap 1 został poszerzony o proces wstępnej filtracji, która dzięki użyciu liniowego elementu strukturalnego, eksponuje obiekty liniowe, takie jak szczeliny i granice ziarn a filtruje inne małe i nieliniowe obiekty, jak wtrącenia i inne zanieczyszczenia.

Etap 1

Dwanaście obrazów (komponentów L) zostało poddanych wstępnej filtracji przy użyciu liniowego elementu strukturalnego [22] (rys. 9b) a następnie działaniu filtru Gaussa w dwunastu kierunkach, co 15 stopni [20]. Następnie został obliczony obraz maksimumów wszystkich 12 obrazów po działaniu filtru Gaussa, przedstawiony na rysunku 9c. Obraz ten został poddany procesowi automatycznej binaryzacji [21] (rys. 9d).



Rys. 9. Granit: a) komponent L, b) filtracja liniowym elementem strukturalnym, c) maksimum, d) automatyczna binaryzacja

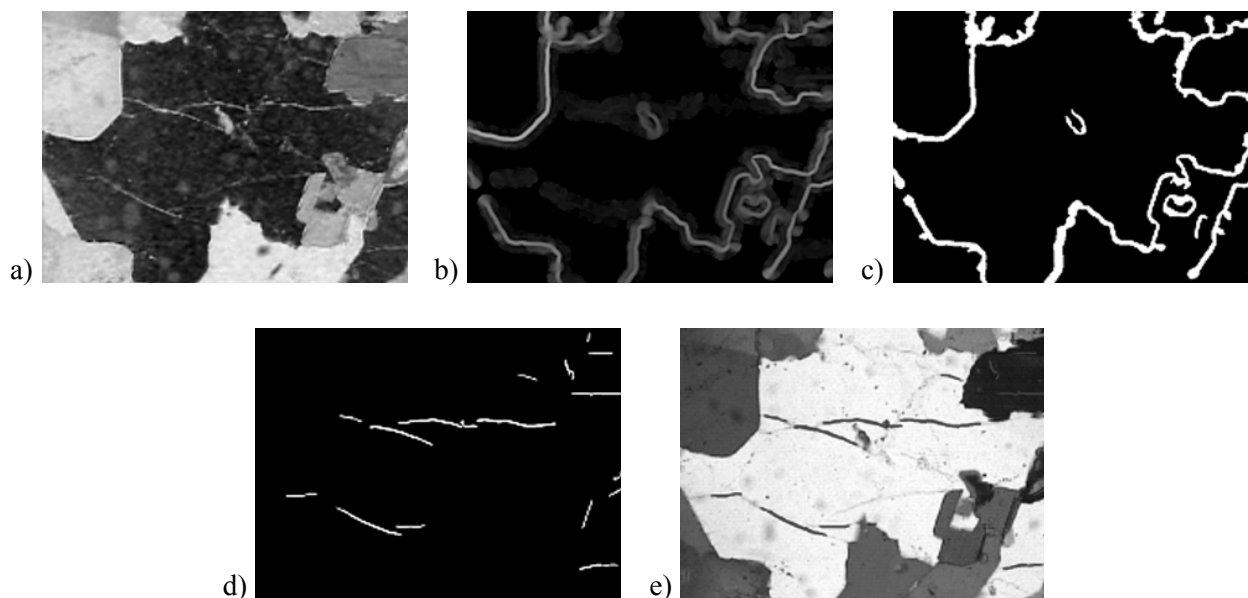
Etap 2 (drugi etap algorytmu jak w punkcie 4)

Obraz z rysunku 9d został użyty do wykonania obrazu zawierającego obszar sąsiedztwa obiektów znalezionych w Etapie 1 (rys. 10b) i w tym obszarze obliczane było odchylenie standardowe wartości 11 komponentów a, mikroskopowych obrazów wykonanych z dwoma polaryzatorami (rys. 4b). Obraz mak-

simum wszystkich 11 obrazów (rys. 11b) z odchyleniem standardowym wartości komponentów a został poddany automatycznej binaryzacji [21] (rys. 11c). Obraz przedstawiony na rysunku 11c został użyty do eliminacji granic ziarn z obrazu na rysunku 10a, a wynikiem jest binarny obraz zawierający tylko szczeliny śródkrystaliczne – rysunek 11d.



Rys. 10. Granit: a) wynik z Etapu 1, b) binarna maska (obszar, w którym jest liczone odchylenie standardowe wartości 11 komponentów a)



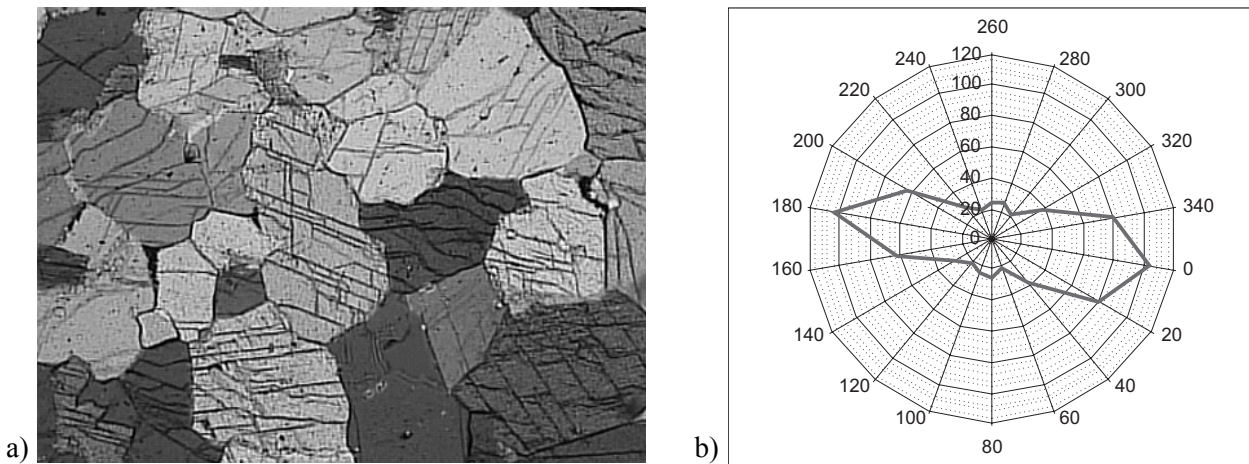
Rys. 11. Granit: a) komponent a, b) maksimum, c) automatyczna binaryzacja, d) wynik eliminacji przy pomocy obrazu (rys. 11c) z obrazu (rys. 10a) granic ziarn, e) wyznaczone szczeliny przedstawione na obrazie wejściowym

6. Wyniki

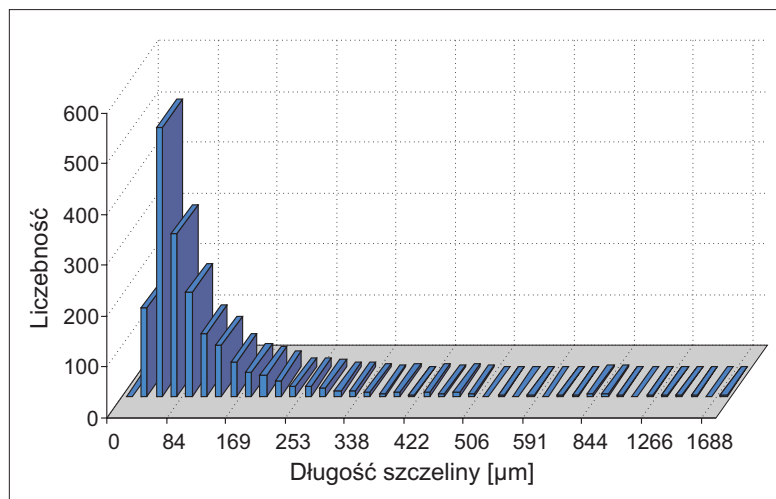
Dla posegmentowanych obrazów badanych przez nas struktur dolomitu i granitu, może zostać wyznaczona szeroka gama parametrów geometrycznych opisujących występujące w nich szczeliny. Jednym z nich jest parametr opisujący ukierunkowanie spękań wyznaczone w 9-ciu grupach kierunków 0° , 20° , 40° , 60° , 80° , 100° , 120° , 140° , 160° . Na rysunku 12b przedstawiono w postaci graficznej ilość szczelin dla każdego z tych kierunków dla wybranego pola pomiarowego na szlifie cienkim dolomitu z Rędzin.

Kolejnym geometrycznym parametrem opisującym szczeliny śródkrystaliczne występujące w strukturze dolomitu, jest ich długość (rys. 13).

Analogiczna analiza statystyczna szczelin śródkrystalicznych może zostać przedstawiona dla granitu.



Rys. 12. a) wybrany mikroskopowy obraz dolomitu, b) wyznaczone automatycznie ukierunkowanie jego szczelin



Rys. 13. Dolomit: rozkład długości szczelin śródkrystalicznych

7. Wnioski

Podsumowując, w prezentowanej pracy zaproponowano nowe podejście w użyciu metod analizy obrazu do detekcji szczelin śródkrystalicznych występujących na mikroskopowych obrazach szlifów cienkich dolomitu i granitu. Analizowane kolorowe obrazy, losowo wybranych pól szlifów cienkich dolomitu i granitu, zostały poddane transformacji systemu koloru RGB do systemu koloru CIELab, filtracji Gaussa, a następnie segmentacji szczelin śródkrystalicznych. Metoda ta pozwala na w pełni automatyczną segmentację szczelin bez wspierania się użyciem wszelkiego rodzaju substancji barwiących [6, 7, 8].

Zaproponowane podejście różni się od koncepcji przedstawionych w pracach [11] i [12] tym, iż wykorzystana tu została własność odróżniająca szczeliny śródkrystaliczne od granic ziarn występujących na mikroskopowych obrazach dolomitu i granitu. Własność ta jest związana z faktem, iż szczelina śródkrystaliczna otoczona jest obszarem o podobnym kolorze w przeciwieństwie do granicy ziarn która rozróżnia dwa obszary o różnym kolorze. Zaś samo odchylenie standardowe jasności otoczenia szczelin i granic ziarn na analizowanych obrazach może być użyte do poprawnej detekcji szczelin śródkrystalicznych.

Podejście to może w znaczący sposób przyspieszyć i usprawnić petrograficzną i stereologiczną analizę struktur skalnych.

8. Dodatek

System koloru CIELab [23]. Komponent L przedstawia jasność i zawiera się w przedziale wartości 0 (czarny) to 100 (biały). Dwa pozostałe komponenty a i b reprezentują kolor czerwono-zielony i żółto-niebieski. Transformacja z systemu koloru RGB do CIELab jest przedstawiona w równaniach 1 do 3:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$L = \begin{cases} 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, & \text{dla } (Y/Y_n) > 0.08856 \\ 903.3(Y/Y_n), & \text{lub} \end{cases} \quad (2)$$

$$a = 500(f(X/X_n) - f(Y/Y_n))$$

$$b = 200(f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n))$$

$$\text{gdzie } f(t) = \begin{cases} (t)^{1/3}, & \text{dla } t > 0.08856 \\ 7.787t + 16/116, & \text{lub} \end{cases} \quad (3)$$

$$X_n = 98.10, Y_n = 100.00, Z_n = 118.35$$

9. Literatura

1. KOWALLIS B.J., WANG H.F.: *Microcrack study of granitic cores from Illinois deep borehole UPH-3*, Journal of Geophysical Research 88, 7373-7380, 1983.
2. GERAUD Y., MAZEROLLE F., RAYNAUD S.: *Comparison between connected and overall porosity of thermally stressed granites*, Journal of Structural Geology 14, 981-990, 1992.
3. KRANZ R.L.: *Microcracks in rocks: a review*, Tectonophysics 100, 449-480, 1983.
4. BODZIONY J., MŁYNARCZUK M., RATAJCZAK T.: *Identification of trans- and intercrystalline image of the fracture surfaces of rock specimens*, Acta Stereologica, 1993.
5. TAKEMURA T., GOLSHANI A., ODA M., SUZUKI K.: *Preferred orientations of open microcracks in granite and their relation with anisotropic elasticity*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40, 443-454.
6. CHEN Y., NISHIYAMA T., KUSUDA H., KITA H., SATO T.: *Correlation between microcrack distribution patterns and granitic rock splitting planes*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, 4, 535-541, 1999.
7. ÅKESSON U., HANSSON J., STIGH J.: *Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading*, Engineering Geology, 72, 131-142, 2004.
8. MENENDEZ B., DAVID C., NISTAL A. M.: *Confocal scanning laser microscopy applied to the study of void networks in cracked granite samples and in cemented sandstones*, Computer & Geosciences, 2001.
9. ÅKESSON U., STIGH J., J.E. LINDQVIST: *The influence of foliation on the fragility of granitic rocks, image analysis and quantitative microscopy*, Engineering Geology, 68, no. 3, 275-288, 2003.
10. THAM L.G., LI L., TSUI Y., LEE P.K.K.: *A replica method for observing microcracks on rock surfaces*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 40, 785-794, 2003.
11. MŁYNARCZUK M., RATAJCZAK T., AKSAMIT J.: *Zastosowanie metod stereologii i analizy obrazu do ilościowego opisu spękań wymuszonych w skałach*, Prace IMG PAN, 409-421, 2003.
12. OBARA B., MŁYNARCZUK M.: *Wykorzystanie metod analizy obrazu do zautomatyzowania opisu geometrii szczelin śródkrystalicznych występujących w dolomitach z Rędzin*, XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Zakopane, Polska, 319-329, 2004.
13. NOWAKOWSKI A., MŁYNARCZUK M., RATAJCZAK T., GUSTKIEWICZ J.: *Wpływ warunków termicznych na zmianę niektórych własności fizycznych i strukturalnych wybranych skał*, Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Kraków, 2003.
14. Starkey J., Samantary A.K.: *Edge detection in petrographic images*, Journal of Microscopy 172(3), 263-266, 1993.

15. ORCHARD M.T., BOUMAN C.A.: *Color quantization of images*, IEEE Trans. Signal Process. 39, 2677-2690, 1991.
16. PIETIKÄINEN M., NIEMINEN S., MARSZALEC E., OJALA T.: *Accurate color discrimination with classification based on feature distributions*, Proc. 13th International Conference on Pattern Recognition, Vienna, Austria, 833-838, 1996.
17. ZARIT B.D., SUPER B.J., QUEK F.K.H.: *Comparison of Five Color Models in Skin Pixel Classification*, Proc. Intl. Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems, 58-63, 1999.
18. GUO P., MICHAEL R.L.: *A Study on Color Space Selection for Determining Image Segmentation Region Number*, Proc. of the 2000 International Conference on Artificial Intelligence (IC-AI'2000), USA, 3, 1127-1132, 2000.
19. OOI W.S., LIM C.P.: *Hybrid Image Segmentation based on Fuzzy Clustering, Algorithm for Satellite Imagery Searching and Retrieval*, 9th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Application, 2004.
20. CHAUDHURI S., CHATTERJEE S., KATZ N., NELSON M., GOLDBAUM M.: *Detection of blood vessels in retinal images using two dimensional matched filters*, IEEE Trans. Medical imaging, 263-269, 1989.
21. OTSU N.: *A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms*, In IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 9 (1), 62-69, 1979.
22. SERRA J.: *Image analysis and mathematical Morphology*, Academic Press, 1982.
23. *Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 4, 443-454, 2003.
24. WYSZECKI G., STILES W.S.: *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formula (2nd edition)*, John Wiley & Sons, 1982.

Application of image analysis methods to detection of transcrystalline microcracks observed in microscope images of rock structures

Abstract

The study discusses the results obtained due to application of automatic algorithm of image analysis to analysis of microcracks in dolomite and granite, which were been obtained in the laboratory conditions. On the thin section, random fields have been analysed. For each measurement field, we used a set of seven input colour images obtained from optical polarizing microscope with different set-ups of polarization. For each colour image, initial colour system transformation from RGB to CIE Lab and filtering, were made. The algorithm is based on combination of Gauss function convolution, standard deviation of image intensity, morphological and statistical functions of image analysis. The proposed method allows to obtain the properly segmented intercrystalline microcracks on which the geometrical measurements can be made. The obtained results show, that in case of segmentation of the microscope images of microcracks in dolomite and granite, the proper method of image analysis have been developed.

Keywords: image analysis, rock structures, transcrystalline microcracks, microscope

Recenzent: Prof. dr hab. inż. *Jakub Bodziony*, Instytut Mechaniki Górotworu PAN